

A paraître dans " Synthèse des
résultats de recherche agronomique au Sahel "
ed. CIRAD - DSA -

P.32
p.5

INNOVATIONS

POUR LA QUESTION AGRICOLE DE L'EAU

AU SAHEL

G. SERPANTIE

Agronome

ORSTOM Dépt MAA

UR "Dynamique des systèmes de production"

Décembre 1990

28 JUIL. 1992

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 36.365 ex 1
Cote : B

Résumé

En cette période de dégradation du climat, la question de l'eau est au centre des préoccupations des paysans sahéliens et de la recherche agronomique. Quelles innovations, au sens de nouvelles pratiques agricoles (techniques, combinaisons productives de moyens de production, organisation sociale de la production) répondront-elles à ce défi ? L'analyse part de la spécificité du milieu sahélien (climat, milieu biophysique, systèmes agraires). On met en évidence que les concepts d'efficience, valorisation, gestion de l'eau, facteur hydrique n'y sont que rarement pertinents pour évaluer ou rechercher des innovations stables, car le paysan est soumis à une condition hydrique aléatoire et donc le plus souvent à la nécessité d'une gestion d'un risque hydrique (déficits ou excès). Ce besoin a engendré des systèmes de culture, un système de production et une organisation sociale adaptés. Ils sont le plus souvent incompatibles avec les propositions d'innover conçues à partir d'une rationalisation de l'utilisation de l'eau disponible. Ce raisonnement n'apparaît justifié que pour l'arrosage de saison sèche, pratiqué le plus souvent à un niveau individuel et lorsqu'il existe un marché urbain, pour les cultures de décrue, ou encore lorsque le risque hydrique et la régulation sociale sont assumées en partie par une société d'encadrement exogène (grande irrigation, forages, aménagements de terroirs). L'endogénéisation progressive de cet encadrement par un certain nombre de facteurs politiques et sociaux peut stabiliser ces systèmes d'exploitation assistés, au coût social élevé.

Mais dans la plupart des cas, la gestion du risque hydrique revient à l'unité de production familiale, qui n'a accès qu'à des portions d'espace dispersées et sur des milieux divers. Ces champs cultivés peuvent faire l'objet de multiples variations techniques s'appliquant à sécuriser le bilan de l'eau à toutes les phases culturelles et notamment aux plus sensibles. Notre étude tente de faire une typologie de ces alternatives. Pour faire un choix approprié, l'exploitant devra replacer ce changement dans l'itinéraire technique, le milieu, les contraintes du système de culture, de production et d'exploitation, mais aussi l'intégrer dans son schéma de représentation et tester sa compatibilité avec ses droits fonciers et la discipline agraire en vigueur sur son terroir. Une telle somme de difficultés doivent inciter la recherche à travailler avec les paysans et proposer des références et des modèles donnant non seulement l'impact élémentaire des techniques sur les états cultureux, mais aussi cerner les interactions. Pour que la gestion du risque hydrique soit portée au niveau du terroir et qu'elle soit plus qu'un aménagement exogène des bas-fonds, il faudra bien que soient renégociés le droit et la discipline agraire en vigueur, contrecarrées certaines stratégies spéculatives, d'accumulation ou d'éviction de certains groupes, remise en cause l'autonomie du groupe familial dans le cadre d'associations. Ne risquera-t-elle pas, alors, de remplacer un risque climatique par un risque social ? Ce choix est d'ordre politique et moral mais là résident sans doute les véritables innovations qui devront se substituer à la dualité actuelle des points de vue sur l'Agriculture Sahélienne.

Dans cette contribution à une synthèse des connaissances et des idées portant sur les systèmes agraires sahéliens, nous proposons une réflexion sur l'innovation dans le domaine de la question agricole de l'eau. On ne peut sous-estimer les interactions entre l'usage agricole de l'eau et les usages domestiques et pastoraux, en particulier les questions de concurrence d'utilisation, de priorités et d'enjeux sociaux qui y sont liés, en bref les politiques de l'eau. Mais afin de réduire le champ de notre contribution, nous ne traiterons pas de ce sujet. On pourra se reporter à plusieurs ouvrages parus à l'occasion de la Décennie de l'Eau (dont DESJEUX, 85 et les Actes du Colloque de la Sorbonne sur les Politiques de l'Eau en Afrique, 83). Nous n'aborderons que le domaine de la production agricole dans la zone encadrée par les isohyètes 300 à 700 mm, qui couvre en partie la région soudanosahélienne.

Il existe dans le discours agronomique un terme riche mais ambigu et connoté : l'innovation. Il couvre la découverte scientifique et ses applications, l'invention technique et conceptuelle, le transfert, la diffusion et l'adoption de gestes et d'outils, mais aussi tout changement observable dans les pratiques et les stratégies sociales. Dans la société moderne et libérale, l'innovation est connotée positivement, chargée affectivement, puisque liée au concept de progrès qui définit sa place dans un contexte concurrentiel élargi et justifie certains privilèges et influences. Des enjeux institutionnels lui sont liés, l'innovation devenant produit, mot d'ordre, alibi d'intervention, parfois instrument de contrôle des paysanneries. Les efforts médiatiques employés à recueillir le bénéfice moral de l'innovation sont aussi à la mesure de sa valeur morale et politique. Pour les chercheurs et les intervenants, innover c'est "trouver utile", mais l'utilité du changement est mal définie et les conséquences peu explorées. Il est possible d'observer des innovations dans les sociétés sahéliennes, mais MARTINELLI (87) remarque que les sociétés qui ont assimilé une innovation ont tendance à la nier comme telle, puisque son transfert a nécessité sa domestication, voire une adaptation sociale. Une fois "socialisée", une innovation telle que la culture attelée lui apparaît surtout comme "un opérateur de changement dans le cadre de stratégies de subsistance, d'accroissement de ressources, de différenciation sociale, de formes diverses d'affirmation et de consolidation du pouvoir. Limiter l'innovation à une simple variation technique serait aussi en ôter ce qu'elle implique comme facteurs d'adhésion, de motivation, d'investissement : il n'y a d'innovation que dans le cas de processus transférables" (ibid.). C'est donc lorsqu'une technique nouvelle se mue en "pratique", c'est à dire acquiert des fonctions et une dimension par l'organisation sociale qu'elle exige, l'espace qu'elle occupe, les flux divers qu'elle suscite (travail, capital, produits), que l'on pourra parler d'innovation. Il peut exister aussi des innovations dans l'organisation sociale de la production (le "système d'exploitation") ou dans le mode de répartition des moyens économiques (le "système de production") avec peu de variation technique du système de culture. La recherche d'innovations renvoie donc obligatoirement au social et à l'économique. Ces considérations nous incitent à stratifier la question de la variation des pratiques suivant l'importance du contenu social du changement et non pas, ce qui eût été plus classique, suivant les types de technologies classées par "lignées techniques" (MARZOUK, 89) ou dans leur ordre historique d'apparition. Dans une

première partie, nous étudierons des concepts permettant d'évaluer le changement ou de féconder la recherche agronomique dans les conditions particulières des systèmes agraires sahéliens. Dans les chapitres suivants, nous discuterons de l'arrosage et de l'irrigation, pratiques à fort contenu social, puis de la maîtrise de l'eau sur les cultures pluviales, enfin de la gestion du paysage hydrique.

I. Risques hydriques et ressources en eau

Spécificité du milieu sahélien

Le Sahel est un milieu semi-aride, selon la définition écologique. La sécheresse est effectivement une réalité huit à neuf mois sur douze dans cette région, d'où l'adaptation des formations végétales (steppes et prairies d'annuelles, savanes à strate arbustive dominante, formations arborées limitées aux sites pourvus d'un aquifère persistant et accessible) et la place qu'occupe l'élevage transhumant dans le système de production régional. Hormis certaines situations particulières (berges des fleuves, dépressions et vertisols avec cultures de riz, sorgho ou *mouskouari* de début de saison sèche ; cultures arrosées de contre-saison), l'agriculture est surtout pluviale. Pendant la courte période pluvieuse, l'apport mensuel moyen en eau est important (100 à 200 mm/mois) soit autant que dans les régions de savanes humides. L'eau n'y est donc pas fondamentalement, un bien rare ou coûteux en soi, comme le serait l'eau d'une source ou d'un forage impliquant une gestion économique. Il convient de nuancer cette affirmation car des cas d'offre limitée en eau se produisent certaines années (cas de 1973, 1984) et l'espérance annuelle de la pluviosité a diminué d'environ 100 mm au nord et 200 mm au sud de la zone considérée depuis 1970. Les variabilités spatiales et temporelles de l'offre sont par contre très élevées. Presque tous les ans, on assiste à des périodes de plus de 15 jours sans pluie utile, ainsi qu'à des différences de plus de 100 mm entre les totaux pluviométriques de stations écartées de quelques kilomètres. La contrainte de cet aléa est amoindrie en savane humide par la durée de la saison, autorisant stockages dans le sol ou compensations végétatives. Mais au Sahel, à la fugacité de la saison des pluies s'ajoute l'importance des flux hydriques d'appauvrissement. La demande évaporatoire ETP varie entre 50 et 100 mm par décade pendant la saison culturale. Les exportations d'eau par ruissellement sur de petits bassins-versant de pente moyenne de 1 % dépassent une année sur deux 20 % de la hauteur d'eau totale tombée (ALBERGEL, 87). Mais les quantités concernées par un flux local (ruissellement et réinfiltration) y sont bien plus importantes. En effet il faut prendre en compte la fréquente juxtaposition de terrains à faible capacité en eau et/ou encroûtées (lithosols, glaciis, zones érodées ou dénudées, sols sarclés puis rebattus) donc producteurs de ruissellement et de terrains plus absorbants (cuvettes et marigots, sols profonds à texture grossière, fourrés denses avec litière, champs récemment sarclés, plages herbeuses). Même les flux occasionnés par un drainage profond peuvent être importants, sur sols à texture grossière. En terme de bilan hydrique, il existera au bout du compte des périodes et des zones particulièrement déficitaires en eau, d'autres fortement excédentaires. Ce n'est donc pas la rareté de l'eau qui caractérise d'abord l'agriculture pluviale sahélienne, mais bien l'intensité et la variabilité des flux et des états hydriques.

L'eau condition aléatoire de production dans les systèmes de culture pluviaux sahéliens.

Dans l'analyse de l'élaboration du rendement, les agronomes appellent habituellement "facteur agronomique" un élément dont la quantité apportée concourt quantitativement au rendement et peut être retrouvé en grande partie dans le produit (facteurs nutritionnels, énergétiques). Une "condition" est un état du milieu qui a une influence sur l'élaboration du rendement. L'expression "eau facteur du rendement" est donc impropre : à l'inverse de l'azote, facteur nutritionnel qui est un constituant de la plante, et dont la réponse est de type "efficacité décroissante", l'essentiel de l'eau du sol utilisée est évapotranspirée. Mais comme le maintien d'un état hydrique satisfaisant peut exiger une irrigation coûteuse, l'eau devient un facteur économique et la notion d'efficacité (le rendement d'un facteur) peut s'appliquer à la condition hydrique dans ce cas particulier.

Lorsque l'état hydrique est maintenu favorable, les facteurs de rendement sont les facteurs nutritionnels et le niveau de radiation photosynthétiquement active. Celui-ci est limité par la valeur du rayonnement global lequel s'accompagne d'un flux d'évapotranspiration potentiel, l'ETP. Pour de fortes valeurs de rayonnement, les contraintes héliothermiques provoquent la fermeture des stomates et le rendement de la culture baisse. "L'efficacité de l'eau transpirée", si on la mesurait par le rapport entre le poids d'eau transpirée pendant la production d'un gramme de matière sèche serait donc réduite au delà de ce seuil critique. Néanmoins, les graminées à métabolisme en C_4 à port érigé cultivées au Sahel, dont les taux élevés de conversion photosynthétique requièrent à la fois hautes températures (optimum à 40°C) et hautes intensités lumineuses, repoussent notablement ces contraintes, et présentent donc une excellente "efficacité en eau transpirée" (250 à 350 contre 450 à 950 pour les C_3).

Au champ, l'ETM (évapotranspiration maximale au champ) comprend l'évaporation du sol et prend en compte l'énergie d'advection en plus du bilan radiatif local. D'autre part l'efficacité photosynthétique change au cours d'un cycle végétatif. "L'efficacité de l'eau consommée" variera donc suivant le microclimat (rôle des brise-vent), entre les phases du cycle (variation des surfaces évapo-transpirables et de l'état de surface du sol), mais aussi en fonction des facteurs nutritionnels et conditions culturales qui favorisent la croissance et le développement des sites d'accumulation de la matière sèche. Certains facteurs qui accroissent pourtant ETM (indice de surface foliaire donc la densité de peuplement et la précocité de recouvrement foliaire) peuvent accroître fortement la productivité donc l'efficacité de l'eau au champ. D'autres, comme l'enherbement, agissent en sens inverse. L'efficacité variera aussi, avec le climat, l'espèce et le cultivar. Pour le mil, une culture "optimisée" en 105 j à Bambey (Sénégal) a un ETM de 500 mm environ (DANCETTE, 83), pour 30 qx/ha de rendement, soit une "efficacité maximum de l'eau consommée" de 6 kg grain/ha/mm ou 1.8 kg MS/ m^3 donc 550 g eau/g MS. En culture à faible densité de peuplement et peu fertilisée, on peut espérer une réduction de ETM, mais s'accompagnant d'une chute du rendement, "l'efficacité au champ" serait alors réduite à 1 ou 2 kg grain/ha/mm. Dans l'absolu, si on raisonnait suivant la "maximisation de l'efficacité de l'eau", c'est à une artificialisation totale de la culture

que l'on parviendrait en recherchant l'optimisation des conditions et la maximisation des productivités des facteurs. Mais ceci à peu de sens dans les conditions économiques du Sahel.

Lorsque les conditions hydriques ne sont pas remplies, le déficit hydrique (mesuré le plus souvent par l'écart ou le rapport de l'évapotranspiration réelle ETR à ETM) ou l'engorgement du sol provoquent une diminution de la photosynthèse et une perturbation du développement. On observe généralement une relation linéaire entre production de matière sèche et rapport ETR/ETM. Dans le Sahel, le déficit hydrique s'accompagne aussi de troubles de l'alimentation minérale : il réduit le volume de sol exploité par le système racinaire et perturbe son fonctionnement, du fait du rôle de l'humidité dans la minéralisation des matières organiques et la diffusion des ions rares ou peu mobiles (cas du phosphore, du potassium). Par ailleurs, il existe des périodes critiques pour les cultures (phase d'installation, floraison) pour lesquelles un déficit ou un excès hydrique ont des incidences plus grandes sur l'élaboration du rendement car agissant sur le développement de certains organes. Il est pour cela utilisé des indices de satisfaction composites (exemple de l'indice *IRES*P, FOREST, 89). Les conséquences d'un déficit sont aussi très variables suivant les conditions culturales. A Bambey (Sénégal), en système de culture optimisé de mil, très coûteux à l'ha, une variation de l'indice de satisfaction *IRES*P de 80 à 20 % fait passer le rendement potentiel de 30 à 5 qx/ha (baisse d'un facteur 6 et perte de 25 qx). Sur sol pauvre et sans fertilisation, on passe de 8 à 2 qx/ha soit une baisse d'un facteur 4 et une perte de 6 qx (FOREST, 89). On peut ainsi comprendre la logique des systèmes de production extensifs (grandes surfaces, faibles intrants) en cas de risque hydrique. Un apport d'eau supplémentaire aurait donc une incidence très variable suivant la situation et l'état même du déficit. Le concept d'efficience (appliqué à ce supplément) aurait donc un intérêt à condition que l'eau soit considérée comme coûteuse, et qu'on puisse par un moyen ou par un autre (modélisation, suivi, etc...) prévoir l'influence sur le rendement de cet apport complémentaire (notions d'irrigation complémentaire). Cette situation étant peu imaginable en dehors de conditions expérimentales, ce n'est pas de l'eau qu'il faut raisonner l'efficience, mais de l'aménagement ou de l'équipement d'irrigation destiné à réduire le déficit, dans une perspective fréquentielle.

Maîtrise de l'eau au champ et gestion du risque hydrique au niveau de l'exploitation sahélienne.

En conditions paysannes, les rendements moyens du département de Bambey (Sénégal) varient pendant la période sèche 68-75, entre 2qx/ha (pluie de 300 mm) et 6qx/ha (600 mm), indiquant une sensibilité du système de production régional plus faible qu'une parcelle en culture extensive à l'aléa pluviométrique. Plutôt que de chercher à maîtriser les flux hydriques, les sociétés paysannes sahéliennes ont, le plus souvent, préféré se prémunir de l'aléa en pratiquant au moins un système extensif (agriculture ou élevage) et en s'adaptant à la variété des conditions hydriques dans le paysage. Ainsi, dans l'exploitation agricole de chaque groupe de subsistance, coexistent souvent des systèmes de culture liés à des milieux suralimentés en eau et à bonne réserve utile (sorgho et riz sur les terrains hydromorphes des bas-fonds ou argileux), et des systèmes au contraire adaptés à des milieux sableux que caractérisent une faible capacité hydrique

mais un bon drainage, une humectation rapide, une économie d'évaporation par self-mulch, et une restitution facile de l'eau (mil, semis aux premières pluies en poquet). En même temps coexistent dans l'exploitation des systèmes de culture intensifs aptes à valoriser une bonne saison (terrains propices, faible surface, fertilisation, céréales précoces) et des systèmes extensifs moins dépendants d'un déficit ou d'un excès d'eau (élevage pastoral transhumant, champs de brousse sur terres marginales, non fertilisées, abandonnées après épuisement). Il ne faut pas oublier l'exploitation des réserves souterraines (arbres fourragers et fruitiers, petits jardins). Enfin, les exploitations agricoles recourent à d'autres pratiques pour réduire le risque : dispersion des champs (contre l'aléa pluviométrique spatial) ; stockage et accumulation (greniers, bétail sédentaire ou transhumant), activités à but lucratif menées généralement individuellement mais contribuant plus ou moins aux besoins du groupe (artisanat, cultures commerciales, maraîchage, orpaillage, commerce, salariat en monnaie ou en nature - "food for work" -, migrations et investissements personnels ou collectifs dans des actions de développement).

A la parcelle, des différents termes de l'ensemble technique de maîtrise de l'eau (récolte, stockage, distribution, maîtrise de l'évaporation et du drainage), seules comptent dans ces systèmes les techniques de récolte d'eau : elles recouvrent le maintien de conditions suffisantes d'infiltration par le sarclage (à plat ou en buttes), la préparation de certains terrains dégradés (piochage en sec, paillage de saison sèche), et la limitation des pertes par certains aménagements de la rugosité (labour ou billonage initial, deuxième sarclage en nid d'abeille Dogon, casiers de diguettes, buttage en quinconce, diguettes, terrasses en zones collinaires). L'utilisation de ruissellements entrants existe mais n'implique pas de pratiques particulières, si ce n'est la localisation de certaines parcelles dans des creux topographiques ou à l'aval d'impluviums. En matière de maîtrise de l'évaporation, les pratiques relèvent d'abord de l'adaptation à des risques élevés de déficit (choix de terrains sableux, densités de peuplement et variétés photopériodiques adaptées au type de sol, à l'espérance de pluie et à la durée de la période humide). Les associations de cultures à port couvrant et à port érigé sur les terrains plus argileux et la conservation d'arbres utiles peuvent être considérés comme des techniques destinées à réétaler l'ETM et réduire l'évaporation du sol au profit d'une transpiration. Concernant la maîtrise du drainage, on constate l'adaptation de la rugosité du sol à la nécessité d'évacuation de surplus d'eau (billonage de l'arachide, culture à plat des bas-fonds, préférence pour les aménagements anti-érosifs perméables). Quant aux pratiques de stockage d'eau (mares et citernes), elles ne concernent que l'abreuvement et la construction. La panoplie technique ne permet donc qu'une régulation élémentaire des flux et des risques hydriques au champ.

Les concepts de "gestion de l'eau", de "valorisation agricole de l'eau", "d'efficacité de l'eau" utilisés par les techniciens ne sont en fait pas neutres. Ils renvoient implicitement aux théories de la valorisation économique comme objectif nécessaire de toute action ; ils supposent aussi que l'eau est un facteur dont l'accès représente un coût et dont l'effet est prédictible. En réalité l'accès à l'eau n'est coûteux qu'en saison sèche ou au sein d'un aménagement qu'il faudrait amortir. Certaines pratiques de régulation observées ont aussi un coût mais répondent généralement à des objectifs multiples (le sarclage en particulier) et leur résultat n'est prévisible que d'une façon fréquentielle (risques d'excès d'eau en particulier). Dans l'agriculture sahélienne, l'eau est avant tout une condition aléatoire de production. Nous préférons donc

parler de "gestion du risque hydrique". Une exception doit être faite néanmoins, certains systèmes de décrue pouvant être considérés comme la gestion d'un stock d'eau initial (cas du *mouskouari* sur les *karal* du Nord Cameroun), justifiant là l'utilisation des concepts de gestion de la ressource et d'efficience.

Fonctionnement des systèmes de production, partage social des ressources en eau et gestion du risque hydrique.

Ce n'est qu'au sein même du champ cultivé, seul espace réellement contrôlé par le paysan car marqué par la culture elle-même, que s'effectuent ces pratiques de régulation des flux hydriques. Si, dans les champs existent des formes d'aménagement hydraulique traditionnel (terrasses du Nord Cameroun et d'Ethiopie, diguettes des collines Mossi), hors du champ l'artificialisation du milieu en rapport avec l'eau semble absente des paysages sahéliens, mais n'est pas totalement absente de l'Afrique au Sud du Sahara (MARZOUK, 89, DEVISSE, 85). Il existe des équipements issus de projets récents (mis en place par les états coloniaux et modernes), mais bien avant d'y poser le problème d'une maîtrise efficace de l'eau, il faut poser celui de leur maîtrise par la société rurale. Les conditions sociales d'appropriation rapide d'un aménagement exogène existent-elles ? En supposant que les sociétés contrôlent ces aménagements, il faut encore qu'une coopération dans la gestion de l'eau et de l'équipement se mette en place. On cite des exemples de sociétés très hiérarchisées dans la vallée du Niger, où une gestion collective de ressources naturelles (terres de décrue, bourgoutières) avait lieu : la gestion consistait en un partage annuel de l'accès à la ressource, par une autorité particulière, féodale ou religieuse. Mais rarement ces systèmes ont été conservés dans les réseaux modernes, dont la gestion est assurée par une technocratie.

Si l'histoire hydraulique du Sahel est sans doute encore à faire, les éléments dont nous disposons nous incitent à penser que dans les régions d'agriculture pluviale, l'eau ne représentait qu'une clé secondaire pour comprendre l'organisation du partage social des ressources. Pour plusieurs disciplines scientifiques, il est commode d'aborder les réalités agricoles sahéliennes en terme de "terroirs". Ceux-ci sont présentés parfois comme des territoires concernés par une gestion collective, compte-tenu de l'organisation de l'espace en auréoles autour de zones d'habitat groupé. En fait, cette communauté de gestion n'est qu'apparente. Cette organisation spatiale est surtout la conséquence des rapports de production au sein des groupes lignagers, des spécificités de chacun (chefferies, artisans, commerçants, griots, agropasteurs, captifs...) et des contrats qu'ils passent entre eux. A ce titre, le terroir Mossi du Yatenga est significatif (MARCHAL, 83). Les fondateurs des différents quartiers actuels installent leurs résidences sur un espace propice : proximité d'un point d'eau, sol cultivable, profond et sain. Au stade pionnier, il y a sans doute des formes d'entraide réciproque (protection mutuelle, premières défriches,...). Par la suite, chaque lignage issu d'un fondateur ou greffé au terroir s'approprie et défriche une portion de l'espace disponible. Sur chaque portion, l'espace le plus proche des résidences est constitué des "champs-jardins" de chaque unité familiale. Au delà, on trouve un grand champ collectif géré par le doyen des actifs et travaillé collectivement et intensivement par tout le quartier. Plus loin encore, chaque segment de lignage constitué exploite un ensemble de champs collectifs familiaux (en situation topographique haute ou basse). Enfin,

sur les espaces éloignés et moins bien contrôlés et sur lesquels peuvent s'installer des éleveurs, on trouve les champs individuels (sur des terrains de moindre qualité et souvent en situation topographique haute) et les espaces de parcours, de chasse et de cueillette. Si l'on s'en tient à cette forme ancienne de fonctionnement, il apparaît que seuls les lignages et les groupes familiaux procèdent véritablement à la gestion collective d'un champ et de certains arbres par suite de rapports familiaux de protection et de production. Au niveau du village, il existe des formes d'obligations, généralement sous l'autorité d'un prêtre de la terre. Il organise la synchronisation des travaux agricoles en ordonnant les jours de repos de la terre, le gardiennage du bétail, le début ou la fin de certains travaux et en faisant respecter des interdits techniques (exemples du sarclage après fructification, des pratiques de travail en sec, de l'arrosage du mil) ; il règle l'utilisation de l'espace collectif du marché, des points d'eau et des lieux symboliques ; il se fait l'intermédiaire entre les hommes et les éléments, à travers la divination, les rituels propitiatoires ou les fêtes de prémices ; il juge les différends fonciers. Les pratiques d'entraide existent, mais procèdent d'obligations féodales, matrimoniales ou familiales ou "d'invitations" rémunérées. On observe aussi des groupes de solidarité, généralement par classe d'âge (groupes de jeunes, de femmes...), mais ils n'ont pas généralement de rôle dans une gestion de ressources si ce n'est de leur propre force de travail. Enfin, une dîme est due aux chefs et aux anciens. Peut-on voir dans cette organisation villageoise les indices d'une gestion collective des ressources du terroir et de la recherche d'une efficacité ? Ne doit-on pas plutôt la considérer comme un processus de régulation sociale qui jouerait sur le lien religieux entre la société villageoise et son environnement ? Cette discipline agraire s'est en tout cas dégradée. La densification démographique et la monétarisation de l'économie ont fait évoluer les "terroirs de quartier". Le champ de quartier a été morcelé au profit de segments de lignage en champs collectifs familiaux. Les champs exploités individuellement ou en association d'individus (champs de groupements) se sont multipliés. Pourtant, l'efficacité de la culture sur champs individuels est réduite du fait de la priorité au champ collectif d'une part, d'autre part de l'absence de la synergie de groupe qui caractérise habituellement les équipes familiales de travailleurs. Les friches, terres communes et les parcours se raréfient. Les interdits tombent en désuétude. Le rôle du chef de terre est réduit à celui d'un arbitre foncier ou d'un pourvoyeur de terres pour les immigrants. Dans certaines situations, concernées par des projets exogènes ou par une influence islamique forte, on peut observer de nouvelles formes d'organisation : regroupement de cultures commerciales par soles par exemple (cas du pays Sereer au Sénégal), chantiers collectifs : mais on voit souvent l'intérêt individuel et immédiat primer dans ces situations, rarement l'intérêt à long terme de l'ensemble social.

L'individualisation de l'organisation pourrait s'accompagner d'inégalités d'accès à certaines facettes plus ou moins favorisées par une suralimentation par ruissellement en période de sécheresse, et donc une inégalité face au risque hydrique. En fait les zones de cuvettes et bas-fonds sont la plupart du temps contraignantes (inondations, crues torrentielles, enherbement rapide, sols argileux lents à s'humecter et difficiles à travailler) ce qui empêche tout monopole d'exploitation : une famille de 5 actifs peut difficilement cultiver correctement plus d'un hectare de bas-fond et prête généralement les terres en surplus à d'autres familles. Seuls les terrains où vient le sorgho de décrue, comme sur les fleuves -LERICOLLAIS, SCHMITZ, 84- et

les *karal*, vertisols cultivés du Nord Cameroun, focalisent des enjeux très importants, et sont marqués de modes d'appropriation parfois très inégalitaires. C'est leur régime hydrique particulier et leur fertilité qui leur donne cette valeur.

Dans les zones méridionales, la possession des bas-fonds est souvent le fait de groupes sédentaires forts (chefferies, maîtrises de terre, descendants des premiers occupants). Ils avaient ainsi un accès privilégié aux puisards, à certains arbres fruitiers et à des terres chimiquement plus riches et convenant aux riz, sorghos rouges, cotonniers, cultures festives, artisanales et commerciales mais ne conduisant pas nécessairement à une plus grande sécurité alimentaire.

Dans les régions les plus sèches, les bas-fonds étaient peu cultivés jusqu'aux dernières sécheresses et réservés au pâturage de début de saison des pluies et à la cueillette de grains sauvages. Il n'y avait pas d'appropriation foncière. Ce n'est que récemment que ces terrains ont pris une valeur de sécurité avec la culture du sorgho qui s'y généralise et que les éleveurs en sont peu à peu exclus (MILLEVILLE 90). Les différends fonciers sur ces zones humides deviennent plus fréquents, signes de la valeur qu'acquière ces situations.

De cette analyse, il ressort que le "paysage hydrique" de surface n'est qu'indirectement, localement ou seulement récemment devenu l'objet d'enjeux sociaux au Sahel ou de pratiques collectives de gestion.

Les grands thèmes techniques actuels : valorisation de l'eau par l'intensification, la gestion du terroir, le mode associatif.

Dans les idées qui prévalent actuellement, mieux gérer la ressource en eau reviendrait à miser sur l'intensif (accroître le rendement de l'hectare travaillé par une accumulation de travail et de capital) et l'homogène (culture attelée, fertilisation organique et minérale) quitte à réduire parfois la productivité du travail (aménagements de bassins-versants à haute intensité de main d'œuvre, travail de la matière organique). S'ils ne sont pas encadrés par une structure partageant les risques avec eux (cas des filières agroindustrielles, de certains Projets d'Aide exogènes) les paysans préfèrent de beaucoup l'extensif et l'hétérogène quand l'espace est suffisant, car ils doivent gérer le risque hydrique eux-mêmes sur un milieu le plus souvent usé et au moindre coût monétaire, avec une main d'œuvre limitée qu'il faut motiver par une meilleure rémunération, donc accroître sa productivité. Lorsque l'espace est fini, la migration est préférée à l'intensification. La mauvaise qualité de la terre, le risque climatique, le rapport du prix du produit au coût de l'intensification, font que les tentatives d'intensification, si on en trouve, répondent souvent à d'autres finalités que l'accroissement de la productivité du travail ou du capital (sécurisation de la production annuelle, affirmation d'un droit foncier, relation avec un Projet, refus de la migration).

La gestion collective des ressources en eau des "terroirs" actuellement préconisée (entre autres à travers la réalisation et l'entretien d'équipements collectifs permanents), ne peut que faiblement s'appuyer sur un ensemble vivant de pratiques sociales de coopération pour la production et est entravée par une organisation foncière ancienne et rigide mais heureusement, non toujours directement interprétable

comme système d'appropriation de l'eau. Ceci laisse donc une chance aux aménagements du ruissellement, dans l'environnement des parcelles individuelles et aux contrats d'usage fonciers. Quant au renforcement de la coopération à l'intérieur du groupe lignager, cette idée va à contre-courant de la tendance observée à l'individualisation des activités. Le développement du mode associatif, considéré comme un atout pour l'appropriation sociale d'un système d'irrigation et encouragé par les organismes de développement ne serait pertinent que s'il était mené de manière à ne pas entraver mais au contraire compléter l'économie familiale de subsistance, qui reste fondée sur les cultures pluviales et l'élevage pastoral.

Deux points de vue s'affrontent donc ici : le premier, externe aux sociétés sahéliennes le plus souvent, est celui de la mise en valeur ; l'eau y est un facteur consommable, dont on cherche à accroître l'efficacité grâce à une artificialisation du milieu qui nécessite généralement (sauf cas particulier de la décrue et de l'arrosage individuel) une coopération sociale, une capitalisation, des connaissances élaborées, des consommations intermédiaires (intrants et services), avec une rentabilité limitée hors encadrement économique. Celui, enfin, de la gestion du risque hydrique au champ : c'est le point de vue des paysans sahéliens.

II. L'eau vue comme un facteur consommable de production : l'arrosage et l'irrigation.

L'irrigation, une innovation exogène et sociale

Définissons ici l'irrigation comme une pratique d'arrosage impliquant une organisation sociale. Si on définit une société hydraulique comme une société organisée en vue de maîtriser collectivement la fourniture d'eau à des cultures, on peut dire qu'à l'exception des cas de gestion de terres de décrue, les sociétés d'agriculteurs sahéliens sont éloignées de ce modèle. Les systèmes d'irrigation, définis par les formes de coopération existant sur un espace hydrauliquement aménagé dans le but de produire et distribuer de l'eau d'irrigation à des parcelles, (SABATIER, com. pers.) n'ont pas vu le jour au Sahel. Pourtant de tels systèmes existent ailleurs en Afrique Noire (Sahara, Casamance...) et la gestion collective des points d'eau est courante dans les sociétés pastorales sahéliennes. Il existait sans doute au Sahel des facteurs défavorables à l'émergence de telles sociétés : rareté des ressources en eau à régime stable, suffisance de systèmes extensifs (cueillette, cultures pluviales ou de décrue, élevage pastoral transhumant) ; les conditions du transfert ont peut être eu lieu avant la période coloniale (existence de régimes politiques centralisés qui apparaît souvent comme une des conditions nécessaires de l'irrigation, contacts avec la civilisation Arabe) mais pas les conditions de reproduction de ces systèmes (relation particulière à la nature, système social lignager et mode de vie faiblement sédentaire des sociétés sahéliennes). L'irrigation relève donc de l'innovation sociale au Sahel. Elle ne peut être que le fruit d'un apport exogène aux paysanneries, les entraînant dans un autre mode d'organisation.

Les grands périmètres irrigués : des objectifs ambigus

Cette pratique d'aménagement des grands bassins fluviaux sahéliens, organisée à l'échelon national depuis l'époque coloniale, a nécessité la réalisation de grands travaux (barrages de régulation, canaux, systèmes de casiers) et la création d'institutions fortes. Mais les "sociétés hydrauliques" ainsi constituées sont loin d'être reproductibles. Ce défaut et le décalage généralement constaté entre les objectifs assignés et les résultats obtenus donnent lieu depuis plusieurs années à une remise en question de ce type d'intervention. Diverses analyses ont dévoilé les problèmes qui en étaient à l'origine (séminaire de Montpellier, 86 ; séminaire d'Harare, 88).

1. La logique de mise en valeur des ressources en terre irrigable qui résulte des objectifs nationaux ou de rentabilité d'investissements a largement tendance à prévaloir sur celle qui résulte des objectifs des paysans. D'où les contradictions suivantes :

- . Contradiction entre les objectifs du projet (autosuffisance alimentaire nationale et rentabilité de l'opération) et ceux des paysans (gestion du risque et valorisation des moyens de production réellement contrôlables).
- . Il est proposé une monoculture très intensive monopolisant travail, espace et intrants alors que la pluriactivité est indispensable aux paysans dans une logique économique anti-risque (élevage d'épargne, cultures extensives en sec, jardinage, activités secondaires) ; en cas d'échec dans l'application de cette contrainte, une autre contradiction surgit : la recherche d'une rentabilisation de l'hectare aménagé alors que l'agriculteur vise celle du temps de travail sur l'exploitation globale.
- . Incapacité des projets à fournir un environnement sans risques (fourniture de l'eau, lutte contre les ravageurs, fournitures d'intrants, débouchés et prix rémunérateurs) nécessaire à la réussite de l'intensification.
- . Mise en place d'un milieu contraignant qui n'accorde aucune place à l'adaptation et l'initiative et qui se veut aussi milieu de vie.

2. Echec de la révolution sociale qui fournirait les conditions de reproduction de l'irrigation. Celle-ci n'est ni explicitée, ni formalisée sur un plan juridique, ni peut être imaginée. Il s'ensuit les détournements de fonctions, la résistance aux mots d'ordre, voire les déprédations. Les principaux conflits de logiques sociales trouvent leur origine dans :

- . La conservation du contrôle sur le foncier par l'Etat, empêchant toute gestion autonome à long terme.
- . La juxtaposition d'un aménagement à contenu social normatif (attribution égalitaire du foncier, transgression des anciens pouvoirs et rôles, agressions du mode de vie) à une réalité sociale pré-existante complexe et hiérarchisée, régie par de multiples systèmes de sens et d'aspirations, et formée de groupes rivaux et complémentaires.
- . La difficulté de gestion de la main d'oeuvre familiale en dehors des pratiques de subsistance liées aux rapports de production traditionnels.

3. Enfin, une difficulté technique dont les principales causes sont:

. La course technologique exigée par l'intensification impose un mode de vulgarisation très normatif fonctionnant par mots d'ordre successifs. Il entrave la prise en compte de la diversité et l'acquisition d'un véritable savoir faire local.

. Des difficultés pratiques de gestion de la fertilité au sens large, suite à la mauvaise rentabilité globale et au coût élevé des amendements et de la technologie au Sahel (salinisations et acidifications, pression des ravageurs et de l'enherbement, appauvrissements, tassements structuraux, dégradation des canaux, du planage, du drainage...).

Le fossé est trop profond entre la vision des aménageurs et les aspirations et possibilités des paysans irrigants et le coût social trop élevé. Pour l'anthropologie, "il y a un vide à combler, dans les systèmes de représentation et les modes de penser les politiques de l'eau, entre les modes autochtones et ceux introduits par l'Occident" (LE ROY 85). Les périmètres irrigués péri-urbains sembleraient mieux fonctionner. Ils rassemblent en effet de nombreux atouts : terre rare incitant à l'intensification, principes de gestion mieux connus des entrepreneurs urbains, capacité d'investissement endogène, proximité du marché et du pouvoir politique et administratif, individualisme économique ou, au contraire, organisations rigoureuses, telles les associations de jeunes et les confréries religieuses, main d'oeuvre abondante et bon marché, nouveaux rapports de production familiaux. Le métissage socioculturel urbain n'est-il pas aussi un atout supplémentaire dans la capacité d'acceptation d'un ensemble technique et organisationnel d'origine exogène ? L'irrigation n'apparaît-elle pas issue fondamentalement d'une logique urbaine ?

A l'inverse, il est conseillé aujourd'hui d'adapter cet ensemble aux sociétés rurales qui acceptent d'entreprendre l'irrigation. Les conclusions des derniers colloques sur l'irrigation prônent d'inverser la relation habituelle "producteurs au service d'un périmètre" ce qui signifie que la forme prise par l'aménagement découle d'initiatives locales. Celles-ci seraient ainsi plus en accord avec les systèmes de production et de représentations, et les principes d'organisation établis que les interventions de type "génie rural", où technique et société sont prises en considération mais l'une après l'autre. La proposition suggérée par plusieurs auteurs (DIEMER et VAN DER LAAN, 87, BELLONCLE, 88) est que la sociologie puisse être mise au service de la conception des aménagements, au même titre que les disciplines qui trouvent habituellement leur application dans le génie rural. Pour les uns (DIEMER et VAN DER LAAN, 87; RUF, 86; LE ROY, 85), il s'agit d'adapter les aménagements hydrauliques à la société : caler la maille hydraulique sur l'organisation paysanne, adapter les techniques de maîtrise de l'eau à des espaces intermédiaires (petites retenues, canaux, digues ou drains "structurants") ou rechercher des techniques d'interface ("sakkia" égyptienne, pompage diesel) pour qu'elles soient réalisées à la demande et puissent offrir des possibilités variées d'adaptation aux systèmes de production et d'appropriation foncière. Pour d'autres, l'adaptation proposée est avant tout un problème de communication sociale. BELLONCLE (ibid.) suggère ainsi que le mode associatif et l'usage des langues locales dans la gestion deviennent la règle dans tous les domaines : la gestion de l'eau et l'établissement des redevances, l'aménagement et la gestion

du foncier, les approvisionnements, l'épargne et le crédit, la commercialisation ainsi que la formation. C'est au sein de tels groupes mutualistes stables que sera assurée la régulation sociale. Mais cette idéalisation n'oublie-t-elle pas que les sociétés sahéniennes sont inégalitaires et que les groupements de producteurs sont généralement l'objet d'enjeux qui les dépassent?

Quant aux aménagements déjà anciens, l'amélioration de l'efficacité de l'espace irrigué se heurte à un obstacle de taille : l'enjeu foncier. La relance de ces systèmes par la modernisation des réseaux, la réhabilitation des terrains suffirait-elle s'il n'y avait pas en même temps des garanties sur la pérennité des droits, une redistribution des responsabilités et une prise en compte des options des irrigants ? Il faudrait aussi sécuriser l'approvisionnement en eau, permettre la croissance de l'exploitation en l'accompagnant par un accès à de nouvelles terres et aux facteurs de modernisation, assister la structuration des organisations.

L'arrosage de cultures de contre saison

Elles ne relèvent pas partout de l'innovation car elles sont pratiquées certainement depuis longtemps (au moins le XIV^e siècle pour la culture de l'oignon à proximité des villes du Bassin du Niger où existaient des quartiers Arabes et Berbères). Mais c'est la monétarisation de l'économie et l'urbanisation qui a répandu le maraîchage de saison sèche au cours du XX^e siècle. Le maraîchage s'inscrit donc dans une tradition technique ancienne mais occupe une place à part dans le système de production (RAYNAUT, 89), à travers d'une part sa place dans les terroirs, d'autre part dans les rapports sociaux et les représentations. Les jardiniers exploitent de petits aquifères localisés et peu profonds au moyen de puisards et de systèmes d'arrosage plus ou moins sophistiqués et diversifiés (RAYNAUT, 89) appliquée à une petite parcelle clôturée : des nappes d'inféoflux dans les bas-fonds, des nappes phréatiques de plaines inondables, des sources et des nappes d'altérites (raréfiées par la sécheresse), ou bien directement des réservoirs artificiels (pays Dogon, barrages péri-urbains). Ce maraîchage intensif nécessite une satisfaction totale des besoins en eau, de 0.5 à 1 m³/are/jour. Il est associé généralement à des vergers (manguiers et goyaviers) qui jouent un rôle important dans la limitation de ETM et de la température. La période de culture est limitée en saison des pluies par des problèmes sanitaires et la concurrence des travaux des champs, en saison sèche par la haute température dès le mois d'avril, sauf pour certaines cultures plus résistantes (tabac, manioc, piment...). La spécialisation géographique peut être un atout car elle s'accompagne d'échanges de connaissances techniques entre producteurs d'une part et permet un meilleur contrôle de la filière de commercialisation d'autre part (pomme de terre et chou à Ouahigouya, haricot vert à Kongoussi, oignon à Bandiagara, aubergine dans certains villages du Yatenga). De nouvelles techniques sont mises en oeuvre. Elles varient suivant les moyens des maraîchers et les influences qu'ils subissent dans les domaines de l'exhaure (pompes manuelles, motopompes aspirantes à deux temps pour les nappes peu profondes, pompes électriques immergées avec groupe électrogène collectif pour l'exhaure profonde), la distribution (culture en planches, irrigation à la raie, réseaux enterrés et réservoirs type "Gandiolois"), la conduite de la culture (composts, mulchs, produits phytosanitaires, rythme de l'arrosage), la phytotechnique (greffage, pinçages, ombrage des pépinières), les techniques de conservation des produits (séchage, conservation des

semenceaux). Pour le stockage de l'eau, la difficulté est de prolonger la vie des aquifères peu profonds, qui tarissent plus ou moins tôt en saison sèche. L'inconvénient des retenues habituelles est d'occuper un espace excessif en saison humide et souvent de ne pas prolonger suffisamment la durée de vie des aquifères. Des voies de recherche portent sur la réduction du coût d'investissement dans les techniques des barrages souterrains, de recharge des nappes, des citernes de grande contenance et le contrôle de l'évaporation de nappes d'eau libre.

Le petit maraîchage était une activité pratiquée souvent individuellement, en dehors du cadre familial, le plus souvent par des hommes ; il n'avait pas la dimension religieuse des cultures céréalières d'hivernage et était donc considéré comme un métier, proche du commerce. Une certaine organisation pouvait exister avec un chef des jardins ou des puits (RAYNAUT, 89). Avec la relance récente du maraîchage par les politiques d'autosuffisance alimentaire, l'association de petits groupes de producteurs (jeunes, femmes...) est le mode d'organisation généralement prôné pour le développement de cette activité et une meilleure stabilité de l'innovation (gestion mutualiste, responsabilité de la pompe et de l'enceinte, partage de l'eau et de l'espace cultivable, médiation avec les circuits d'approvisionnement et de commercialisation ainsi qu'avec les organismes de financement et d'animation...). Ce type d'organisation n'est pas seul à être efficace : on voit parfois fonctionner des modes d'organisation de type "entreprises familiales" (fonctionnaires et commerçants urbains) voire féodaux (chefferies rurales).

Les cultures irriguées par récolte de ruissellement en hivernage

En association avec le développement de techniques de stockage d'eaux de surface, se développe le concept de "cultures contre-aléatoires d'hivernage" (BONFILS, 87, DUGUE, 86). Le but est de promouvoir sur de petites superficies l'intensification de céréales (association maïs/haricot, riz) avec un objectif de rendement élevé, ou des légumes d'hivernage (gombo, aubergine...). Mais cette idée se heurte à la contradiction suivante : si cette pratique est envisagée à l'échelle de l'exploitation familiale, elle est peu compatible à la pratique du travail prioritaire dans les champs pluviaux, porteurs de sécurité et de tradition. A court terme, il serait difficile de mobiliser la main-d'oeuvre familiale pour le forage des puits ou la construction du réservoir, puis l'irrigation. S'il faisait appel à la main-d'oeuvre salariée ou à une technologie importée, le chef d'exploitation devrait supporter des coûts monétaires importants (creusage des citernes ou puisards, matériel d'arrosage, fertilisants) ce qui est difficile aux groupes qui ont besoin de sécurité vivrière. Quant aux exploitants aisés, ils préfèrent investir dans le bétail, le commerce ou les engrais. Ne faut-il pas plutôt parler de "jardin d'hivernage" ? Il serait nécessairement géré individuellement ou en association d'individus, mais subirait les mêmes contraintes que les champs dits individuels (manque de temps, retards dans les travaux, absence d'investissements).

Une approche de plus en plus fréquente dans les disciplines du génie rural consiste à concevoir les ruissellements qui succèdent aux pluies comme une **ressource valorisable** par l'irrigation (KLEMM, SCHRAMM, 88). De telles recherches sur la ressource en ruissellement (*runoff*), les méthodes de récolte de l'eau (*water harvesting*), les méthodes d'épandage des eaux et les systèmes de culture liés (*runoff*

farming) ont été essentiellement développées dans les zones arides de pays développés (Etats-Unis, Australie, Israël), souvent en dehors du cadre d'un petit paysannat. Ces pratiques qui requièrent souvent un investissement important et une organisation rigoureuse pour l'entretien du dispositif et la conduite de l'irrigation ne manquent certes pas d'intérêt mais ne pourraient être appropriées et réellement valorisées dans le Sahel que si leurs caractéristiques permettaient avant tout une amélioration des systèmes de production existants qui sont comme on l'a vu, éloignés d'une logique d'irrigation collective.

Certains programmes d'agroclimatologie (FRANQUIN et SICOT, 86) développent le concept d'irrigation de sécurité, afin d'optimiser la conduite d'une culture en conditions climatiques aléatoires et lorsque l'eau d'irrigation est coûteuse. Cette approche récente, qui seule permettrait l'intensification en échappant aux risques climatiques majeurs, est basée sur une modélisation des probabilités de périodes sèches. Elle n'a pas encore trouvé d'application pour les systèmes de production sahéliens pour les mêmes raisons que précédemment.

La valorisation des grands aquifères

Les difficultés du stockage de l'eau et le gaspillage de terres qu'il entraîne par submersion amènent à considérer l'utilisation des ressources en eau souterraines comme une alternative possible non seulement pour des cultures de contre saison, mais aussi pour une irrigation de complément sur des cultures intensives d'hivernage. On reconnaît deux ensembles de formations aquifères au Sahel. Il y a d'une part le socle précambrien (schistes, grès, roches cristallines) : les débits les plus intéressants s'observent dans les fissures de la partie supérieure de la roche saine, ou dans les arènes à la base de la couche d'altération. Bien que les niveaux statiques soient généralement peu profonds, les débits exploitables sont ponctuellement faibles, dépassant rarement $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (soit 5 ha irrigables). Il y a d'autre part les formations sédimentaires localisées. Elles se répartissent en grands bassins (Sénégal, Mauritanie, delta central du Niger, bassin nigérien, Tchad...). Ces formations contiennent généralement des aquifères continus, localement en charge, de productivité très variable (10 à $100 \text{ m}^3/\text{j}/\text{mètre}$ de rabattement). Ces nappes sont profondes mais la charge remonte le niveau statique. Les possibilités d'utilisation de ces aquifères dépend du renouvellement de la ressource, de sa qualité et de la réserve exploitable. La recharge annuelle de la nappe ne dépend pas que de la "pluie efficace" des hydrogéologues mais surtout des caractéristiques des terrains traversés et du substrat de l'aquifère. Les travaux du CIEH/BRGM ont permis des évaluations précises de ces paramètres (carte de planification des ressources en eaux souterraines du CIEH, 76). La réserve exploitable représente un volume d'eau emmagasiné dont l'exploitation conduirait à une vidange partielle de la réserve. Partant de la minéralisation totale de l'eau exprimée par sa conductivité d'une part, son taux d'absorption du sodium d'autre part, le CIEH a aussi défini des degrés d'aptitude à l'irrigation qui permettent de raisonner l'adéquation entre la qualité de l'eau, la perméabilité et salinité d'un sol et la tolérance d'une culture. Des zones privilégiées pour l'irrigation à partir des eaux souterraines ont ainsi été isolées (eau admissible à excellente, productivité par ouvrage d'au moins $550 \text{ m}^3/\text{j}$ -soit 8 ha irrigables-, coût du m^3 réduit). Si la ressource semble fort bien connue, en est-il autant des

systèmes de production qui seraient susceptibles de la valoriser avec les exigences de rentabilité et de sécurité ? Plutôt qu'aux systèmes de cultures ruraux, l'aménagement des grands aquifères s'adresse sans doute plus à la fourniture d'eau domestique et pastorale, aux grandes pépinières, aux systèmes maraîchers péri-urbains et aux centres d'apprentissage agricole.

III L'amélioration de la gestion du risque hydrique au champ.

On a vu en première partie que l'exploitation de différents espaces, pourvus de régimes hydriques contrastés ou de fertilité variée participe de cette gestion du risque. C'est en outre, au sein même des différents systèmes de culture qu'il est possible de faire intervenir des innovations touchant les termes du bilan d'eau : ruissellement, drainage, adaptation au cycle humide et aux risques de périodes sèches, évaporation et stockage : on peut considérer que ces innovations ont un faible coût social en comparaison de celui de l'irrigation sur une base collective.

L'adaptation au cycle pluvieux

Au Sahel, la technique des semis de la céréale vivrière est la suivante. Dès que le sol est humecté sur 15 cm, le mil est semé en poquets puis on corrige le peuplement par de multiples resemis, repiquages, démariages. La qualité du demis est néanmoins limitée par l'état d'humectation de la terre et la quantité et la qualité de la main-d'œuvre qui valoriseront au mieux l'état optimum du sol, très fugace. La réussite des levées et de la croissance au départ conditionne en grande partie l'enracinement rapide et les chances de la culture. Compte-tenu de l'étalement nécessaire de ces semis et des risques de semis tardifs, on note deux stratégies principales :

- exploiter une variété photopériodique, donc à semis échelonnable (cas du Yatenga pour le mil)
- jouer sur deux variétés l'une précoce et l'autre tardive (cas du Sénégal pour le mil : variétés *souna* et *sanio*).

Depuis les années 65-70, en Afrique de l'Ouest, les caractéristiques fréquentielles du cycle pluvieux sahélien ont changé (BOULIER et JOUVE, 90): bien que toujours aussi irrégulier ($cv = 10\%$) le début de la saison (à P décad. > ETP décad./2), accuse un retard de 10 j à l'Ouest, 5 j à l'Est. La fin de saison, généralement plus régulière ($cv = 5\%$), apparaît en avance d'une dizaine de jours (Sénégal, Niger) mais sans changement au Burkina et au Mali. Quant aux quantités pluviométriques, elles accusent des baisses conséquentes : 100 à 200 mm suivant les lieux, soit 20 à 35 %. Si le risque de décades sèches successives était déjà élevé avant 70 (1 année sur 4), il s'est fortement accru en particulier en début et en fin de cycle. La durée moyenne de périodes sèches a augmenté elle aussi. Le risque de périodes humides pouvant maintenir un engorgement des sols à mauvais drainage a diminué mais persiste. Le risque de mauvaises conditions de fructification a augmenté.

Si dans le domaine de l'arachide, les conditions sèches de fin de cycle posent surtout un problème de récolte, dont une solution est l'emploi d'une souleveuse attelée, c'est le retard du début de saison qui pose problème pour les céréales.

Ce retard a conduit les paysans sénégalais à abandonner pratiquement le mil de 120 j, et à rechercher des variétés précoces. Le mil est semé en sec à l'aide d'un semoir attelé mais cette pratique peut entraîner de mauvaises levées dans certains sols battants (encroûtements et absence de l'effet synergique du poquet). En revanche, au Mali comme au Burkina, les variétés photopériodiques conviennent toujours, mais les cultivars auraient tendance à "descendre" vers le sud. Les céréales étant semées manuellement suite à l'absence d'une culture commerciale justifiant de s'équiper d'un semoir, les paysans refusent souvent ce qui retarde les semis (façons culturales préliminaires, semis en ligne) les réservant aux champs semés en retard et donc enherbés. Au Yatenga, pour accroître les chances de mise en place rapide, les paysans reprennent une ancienne technique de piochage et de fumure localisée (*zai*) du sol en saison sèche, notamment sur les terrains plus argileux, encroûtés, érodés ou simplement durcis. Ces poches piègent des sables et des résidus (feuilles) et s'humectent facilement ce qui attire certains termites qui restaurent une porosité ouverte dans les horizons compacts. Ce travail en sec pourrait être adapté à l'attelage au moyen d'un pic fouilleur, dans les terrains ni trop sableux, ni trop compacts (DIPAMA, 87) et pourrait être complété d'un paillage. Mais la qualité de celui-ci est importante. Un champ recouvert de résidus de récolte épars se couvre vite d'herbes et de "mil hybride". En revanche un paillage fin, dense et localisé au poquet peut efficacement le protéger de la dessiccation rapide, des hautes températures et de la compétition. Les paillages posent bien sûr le problème de la concurrence entre diverses utilisations de résidus de récolte ou de chaumes dans le système de production. Les travaux préliminaires posent toujours le problème de la mobilisation de la main-d'oeuvre familiale en saison chaude et, bien sûr, de la protection de levées précoces contre des animaux divagants. Le coût social de telles innovations n'est donc pas à négliger.

La résistance physiologique à la sécheresse

En comparant différentes variétés de mil, on a découvert des variations dans l'équilibre hydrique des plantes. Certaines variétés du Nord garderaient leurs stomates ouverts jusqu'à des potentiels hydriques du sol plus forts (en valeur absolue) donc pourraient photosynthétiser en conditions plus sèches. D'autres spécificités variétales, la tolérance des membranes, l'accumulation glucidique peuvent jouer un rôle supplémentaire dans l'adaptation à la sécheresse. D'autres critères d'ordre tactique peuvent jouer, tels que la sensibilité lors de certaines phases (capacité à conserver des talles fertiles malgré une sécheresse au tallage et à la montaison, capacité à assurer la translocation des photosynthétats, capacité à renouveler un enracinement profond), voire des stratégies encore plus complexes. De tels critères sont actuellement utilisés pour l'amélioration variétale. Le problème reste de retrouver dans les cultivars sélectionnés l'ensemble des qualités requises par ailleurs par les paysans, sous peine de refus (rusticité, qualités du grain et des pailles,...). On peut associer à ce type de recherches celles portant sur les facteurs chimiques du sol qui pourraient jouer un rôle dans la résistance à la sécheresse, et justifier ainsi des amendements. Il s'agit

de certains oligo-éléments tels le bore et le chlore, des macro-éléments tels que le potassium ; à l'inverse l'azote en excès accroît la sensibilité. D'autres substances absorbées par les racines modifient le comportement des stomates : certains humus, certaines substances extraites des lichens, dont l'acide usnique, auraient des propriétés "anti-transpirantes" (CARBONNIER, LAFFRAY, 86). Il n'y a pas encore d'application certaine pour les systèmes de production sahéliens, si ce n'est dans le domaine de la plantation d'arbres.

Le stockage, le drainage et l'évaporation du sol

Les sols sahéliens peuvent se répartir entre quatre grandes catégories sur le plan hydrodynamique.

1. Sols très sableux et profonds (moins de 5 % d'argile + limon) homogènes, très perméables (type *dieri* du Sénégal). Leur grande conductivité hydraulique à tout taux d'humidité en fait des sols à faible capacité de rétention : l'infiltration est facile, mais le ressuyage gravitaire trop rapide, et la réserve utile trop faible (40 mm/m). Ces sols perdent trop d'eau par drainage, mais peu par évaporation. Idéaux pour une irrigation au goutte à goutte, seules de grandes profondeurs d'enracinement peuvent les valoriser en culture paysanne (mil, arboriculture). Il existe des spécialités chimiques nommées "hydro-rétenteurs" qui peuvent accroître la capacité de rétention de sols très sableux. Leur application n'est guère envisageable dans le domaine culturel, mais est possible en arboriculture. L'accroissement du taux de matière organique de ces sols n'accroît pas significativement la réserve utile mais l'hydrodynamique change sous culture (effet de l'enracinement). Ils sont très sensibles à l'érosion éolienne.

2. Sols sableux (env 10 % d' A+L) C'est le type sénégalais *dior*, fréquent en Afrique soudano-sahélienne. Parfois battant en surface, assez hétérogène latéralement il est aussi moins perméable ; la réserve utile atteint 80 mm/m ; la percolation est parfois limitée en profondeur par des horizons d'accumulation moins poreux et plus argileux ou par une carapace, auxquels les racines n'ont pas accès. Ils évaporent peu (effet de "self-mulch" à l'état sec), restituent bien l'eau mais ont une capacité d'échange cationique réduite. Ils sont un atout certain pour une culture pluviale manuelle ou attelée extensive. Ils sont sensibles à l'érosion éolienne et hydrique à la fois.

3. Sols sablo-argileux (A + L > 20 %). Ces sols ont une bonne capacité de rétention et une importante capacité d'échange cationique, en particulier lorsqu'il s'agit de sols bruns dérivés de roches basiques. Leur surface s'encroûte facilement et ils durcissent en saison sèche et se fissurent ; mais de par leur position basse dans le paysage, ils sont concernés par une suralimentation hydrique sur les passages d'eau. Ils deviennent alors très hétérogènes latéralement (zones à humectation lente, à surface d'apparence colmatée juxtaposées à des zones très humides voire hydromorphes). Ces sols doivent être particulièrement protégés de l'érosion, leur structure améliorée (travail du sol en sec ou en humide avec matière organique, activation de la mésofaune par des pratiques de paillage et de fumure en fin de saison sèche, façons superficielles fréquentes). L'excès d'eau doit pouvoir s'évacuer pendant les pluies par drainage externe, faute de perméabilité et de porosité suffisante en profondeur. Ils peuvent stocker beaucoup d'eau (120 mm/m), mais contiennent aussi de l'eau non récupérable par les racines. Ces sols

perdent beaucoup par évaporation (fissures, faible "self-mulching") sauf si l'état de surface rompt la capillarité et réduit la température (rôle d'un mulch localisé, du sarclage, de cultures intercalaires couvrantes).

4. sols argileux (vertisols) : Ils sont caractérisés par une grande capacité de fissuration mais présentent souvent une chute de la porosité à la réhumectation, donc une grande aptitude au ruissellement et par suite à l'érosion, imposant ainsi des aménagements de surface (casiers, mulching). Les meilleures conditions culturales sont parfois repoussées au début de la saison sèche, lorsque la fissuration aérant le sol permet l'enracinement du sorgho de décrue.

Dans les sols à texture fine et conductivité hydraulique faible, tout ce qui améliore la structure donc l'exploration du sol par les racines est facteur d'une meilleure utilisation du stock : travail du sol en bonnes conditions, porosité, teneur en humus, fertilisation minérale et variété adaptée (SOME, 90; NICOU *et al.* 87). En revanche dans les sols à grande conductivité hydraulique, le *mass flow* important et l'exploration racinaire dense peuvent justifier l'absence de travail du sol.

L'évapotranspiration

Ce terme est le plus important en flux sortant mais paradoxalement il n'est encore pas très bien connu (rôles respectifs des énergies d'advection et du rayonnement net dans l'expression de ETM, poids de la densité et de l'architecture du couvert, répartition des pertes en eau entre évaporation du sol et transpiration, rôle des conductivités hydraulique et thermique des horizons superficiels et des mulchs,...). Les besoins globaux des cultures sont connus mais leur utilisation dans des modèles de simulation du bilan hydrique n'a été réellement testée que pour des systèmes de cultures optimisés (sols enrichis, besoins minéraux satisfaits, entretien optimal). Les découvertes dans le domaine des anti-transpirants stomatiques pouvant repousser les limites du flétrissement n'ont pas encore trouvé d'applicabilité au Sahel. Le mulching est la technique habituellement préconisée. Il réduit l'évaporation et la température d'un sol humide. Il faut souligner que le bilan n'est pas meilleur qu'un sol nu après quelques jours de sécheresse, ce qui n'ôte rien à son intérêt toutefois (évaporation constante sous paillage, évaporation dégressive en mode "self-mulch").

Les tendances à l'individualisation de l'activité et à la précarisation du foncier (champs souvent prêtés) rendent secondaires les anciennes pratiques de contrôle de l'évaporation (cultures associées et complantation d'arbres). L'aménagement de brise-vent organisés exige une coopération sociale, comme l'irrigation, ce qui implique le même investissement social exogène et donc les mêmes changements sociaux à moyen terme. Seule la relance du reboisement individuel des champs exploités par leur propriétaire peut réellement être envisagé à court terme, à condition que l'ensemble du groupe familial de production y adhère et que soit trouvée une réponse au problème de la divagation du bétail (protection des arbres, gestion collective des troupeaux, mises en défens).

Les eaux de surface

Il a fallu attendre le développement des mesures sous pluies simulées (fin des années 70) pour mettre en évidence l'influence déterminante des caractéristiques de surface des **sols sahéliens naturels** sur leur aptitude au ruissellement (CASENAVE, VALENTIN, 89 ; COLLINET, 88). Les organisations pédologiques internes peuvent être des facteurs indirects : les sols à mauvais drainage peuvent favoriser un effondrement structural superficiel. Le taux de couverture végétale, l'activité faunique et les organisations de surface expliquent l'essentiel des variations du coefficient d'infiltration mesuré sous pluies simulées.

En milieu cultivé, donc à état de surface temporairement entretenu, il faut ajouter le taux d'humidité, la structure et la conductivité hydraulique des horizons de surface (discontinuités, teneur en argiles, état de la fissuration), la capacité de rétention, et le modelé comme conditions de ruissellement à relier à l'intensité de l'averse. Sauf lorsqu'il est très concentré, le ruissellement apparaît comme un processus mineur de l'érosion par arrachage de particules à l'échelle du champ. L'arrachage est dû à l'impact des gouttes de pluie avant tout. Le ruissellement est en revanche responsable du transport des matériaux mobilisés, et ce d'autant plus que l'écoulement est turbulent. C'est au processus de réorganisation superficielle conduisant à la formation de croûtes que l'on doit les principaux obstacles à l'infiltration. Les conditions de leurs formation commencent à être connues (CASENAVE, VALENTIN, 89) : **conditions internes** liées à la stabilité structurale, à la composition granulométrique, à la nature minéralogique et à la garniture ionique de la phase argileuse, au statut organique, au taux d'argile et à l'aptitude à la fissuration. La pente n'intervient pas à l'échelle élémentaire (1 m^2), mais beaucoup plus à petite échelle où l'on observe l'accroissement du ruissellement sur formes convexes. Il y a aussi des **facteurs externes**. Les principaux sont représentés par l'agressivité des pluies, très forte au Sahel (fortes intensités associées à des gouttes de grande taille), le mode d'irrigation, l'état hydrique du sol (effets néfastes des états extrêmes), la vitesse d'humectation et la dessiccation, l'histoire hydrique, enfin la couverture du sol (litière et éléments de protection proche du sol). Parmi les **agents** de transformation et de distinction des croûtes, outre la pluie et l'agriculteur, citons les termites, soit promoteurs de croûtes par effondrement de leurs nids épigés (croûtes d'érosion) soit destructeurs de croûtes sur leurs aires de récolte, mais aussi le bétail (destruction des croûtes par piétinement sur les terrains sableux).

Si l'approche en terme d'état de surface constitue en soi une innovation sur le plan du diagnostic, l'application de ces nouvelles connaissances permet une "redécouverte" de certaines pratiques agricoles revues à présent sous l'angle de la maîtrise des processus d'encroûtement mais aussi son corollaire, la maîtrise de la fertilité et de l'érosion. Ces techniques élémentaires visant le contrôle de l'encroûtement peuvent être énoncées, mais on devra les confronter les unes aux autres (risque d'antagonismes), à la logique des itinéraires techniques ainsi qu'à la nature et l'état réel des milieux auxquelles elles sont destinées. Il va sans dire que toutes doivent être replacées dans le système de production et de décision (coût monétaire ou en travail, contrôle et accès au foncier, jours disponibles et calendrier cultural, risques d'échec...).

1) Techniques visant le maintien d'une stabilité structurale de l'horizon de surface.

Dans les techniques jouant sur les conditions internes de l'encroûtement, citons la fumure de matières organiques humifiées, la place suffisante des céréales dans les rotations (enracinement structurant), la limitation du nombre d'interventions culturales risquant de soumettre les agrégats aux pluies, l'association des cultures à un parc arboré (*Acacia albida*), le respect de la jachère arbustive de longue durée, et le choix de terrains à risque faible d'effondrement structural. Certains amendements anticroustants (polymères organiques, gypse sur sols riches en sodium) ont été testés mais aucun n'apparaît utilisable dans les conditions de l'agriculture sahélienne.

2) Techniques de protection de surface.

Il s'agit de pratiques jouant sur les conditions externes de l'encroûtement. Le paillage réduit à zéro l'énergie cinétique des pluies. La principale limitation d'un paillage fin et trop couvrant est son coût, celle d'un paillage grossier et épars est l'enherbement précoce. Sur culture à grand écartement, un paillage fin et dense pourrait être localisé sur la ligne de semis en vue d'une efficacité accrue. Le paillage de fin de saison sèche au moyen de certaines matières végétales (branchages de certains arbustes tels que *Piliostigma reticulatum*, écorce de baobab, poudrette de parc à bétail, compost, pailles fines,...) favorise l'activité des termites sur les sols suffisamment argileux et le piégeage de sables et de résidus organiques éoliens sur ceux qui sont assez sableux.

Les cultures associées : le rôle des plantes de couverture dans les associations culturales est d'accroître la protection du sol mais aussi de substituer à l'évaporation du sol une ETR utile et d'exploiter au mieux l'eau du sol lorsque l'enracinement et la conductivité hydraulique sont faibles. Dans ces conditions, les sols plus argileux pourvus d'un mauvais self-mulching, d'une faible conductivité hydraulique, et les profils culturaux présentant des défauts de structure sont plus aptes à valoriser de telles associations que des sols très sableux où la compétition risque de se faire plus sentir.

L'enfouissement partiel de résidus favorise la création de discontinuités de surface mais il convient de mentionner les problèmes liés à leur toxicité, au parasitisme, et à l'immobilisation d'azote que leur dégradation implique.

3) Techniques élémentaires visant le contrôle de l'état structural de surface.

Le labour attelé en conditions ressuyées, les façons superficielles adaptées à la texture et à l'état d'humectation, les sarclages : ils permettent de restaurer une bonne capacité d'infiltration pendant une période équivalente à 50-100 mm de pluie environ pour un sol ferrugineux lessivé sableux (SERPANTIE, LAMACHERE, 89). Mais la recherche d'un taux d'infiltration maximum doit être mis en rapport avec la capacité de drainage du terrain en cas d'excès d'eau, ainsi que la tolérance des cultures à l'engorgement. La régénération d'une structure par travail du sol peut conduire à certains effets indésirables : création de semelles, risque d'érosion par charriage après perte de cohésion et fragmentation, affaiblissement de la stabilité de structure. Ceci souligne l'importance des conditions de travail du sol (structure et taille des mottes, profil hydrique, place du terrain dans le paysage, taux de matière organique, conditions de

ruissellement) du raisonnement de l'itinéraire technique et du système de culture (fréquence du travail du sol, bilan organique).

4) Techniques visant le ralentissement du ruissellement par la création d'une rugosité ouverte.

Par l'épandage, le stockage temporaire en surface, le ralentissement hydrodynamique et le contrôle de l'organisation du ruissellement ("conditionnement du ruissellement"), il est possible d'accroître la durée d'infiltration de la nappe de ruissellement et de réduire sa compétence. On peut procéder par formation d'une rugosité "ouverte", c'est à dire ne s'opposant que temporairement à l'écoulement : paillage, buttage, billonnage, cordons isohypses filtrants permanents, terrasses. De telles techniques maintiennent une possibilité de vidange externe en cas d'excès d'eau, mais autorisent aussi l'exploitation de ruissellements entrants.

Le risque inhérent à toute structure linéaire isohypse (billons, cordons, diguettes) est de collecter latéralement la nappe de ruissellement et de se fermer petit à petit. D'où un risque élevé de concentration de filets d'eau qui peut accroître l'érosion linéaire et le ruissellement global. Pour éviter ces inconvénients il faudrait raisonner de telles pratiques dans leur contexte d'application (place dans le bassin versant, respect de la courbe de niveau, écartement), et surtout compléter tout aménagement linéaire par un cloisonnement latéral. De nombreuses variantes du cordon pierreux existent (fascines, andains, lignes de touffes de graminées pérennes, demi-lunes). Les résultats expérimentaux montrent que l'efficacité de tels aménagements à accroître l'infiltration dépend, pour une architecture donnée, de l'état de surface (rugosité, porosité, humidité) et du type de sol. Un état rebattu et humide, un sol peu perméable ou à faible capacité de rétention conduisent à une faible expression de l'aménagement dans le bilan d'eau (SERPANTIE, LAMACHERE, 89). D'autre part, il faut signaler la fugacité des caractéristiques initiales, donc les mesures de protection et d'entretien à prendre pour s'assurer d'un effet durable. Le coût important en travail, le statut foncier précaire, la faible fertilité et les pratiques extensives sont évidemment des obstacles à de tels aménagements dans les "champs de brousse". La constitution progressive de terrasses par ce moyen agit non seulement sur le ruissellement, mais aussi accroît la réserve en eau de sols peu épais.

5) Techniques de piégeage d'eau par formation d'une rugosité fermée.

Leur rôle est de stocker l'eau de ruissellement issue de petits impluviums sur des surfaces réduites (billonnage cloisonné, trouaison ou *pitting*, casiers, ainsi que l'ensemble des techniques de *micro catchment* -REIJ *et al.*, 88- ou d'épandage localisé, à vocation pérennes). Ces modèles sont mis en oeuvre à l'échelle du champ : *zai* paysan (trouaison au poquet), utilisation de diguettes imperméables avec système de culture en bandes alternées. Ils concernent aussi des échelles plus vastes, tel que l'épandage de crues torrentielles sur terrasses aménagées (KLEMM, SCHRAMM, 88). Les principaux problèmes pratiques que posent ces aménagements sont, d'une part, des problèmes de stabilité d'aménagement, qui peuvent se résoudre par l'armement des structures (pierres, végétalisation) ; d'autre part la réduction importante de

l'espace productif des champs aménagés (zones asséchées par les obstacles), imposant de fait une intensification en matière d'entretien de la fertilité qui n'est pas toujours compatible avec les systèmes de production et le coût de la fertilisation. L'évacuation des excès d'eau en surface ou l'utilisation de ruissellements entrants entraîne souvent la destruction localisée de ces aménagements, d'où des risques d'érosion linéaire et une perte d'efficacité hydraulique. Quant aux aménagements à gestion collective, ils posent les mêmes problèmes sociaux que l'irrigation.

En conclusion, il semble nécessaire qu'en matière de recherche soit poursuivie l'étude des effets élémentaires sans oublier celle des interactions élémentaires (effets d'échelle, interaction climat/sol/technique, itinéraires techniques). Les nouvelles combinaisons dans le domaine du contrôle de l'encroûtement et du ruissellement ne peuvent de toutes façon être considérés valides que si elles sont raisonnées dans les systèmes de culture et de production et par rapport à leur capacité d'évolution.

IV. Une innovation attendue mais difficile à mettre en oeuvre : la gestion collective du paysage hydrique dans le terroir.

La gestion des reports d'eau dans l'espace

Les enjeux de la gestion du ruissellement sont devenus importants dans toute la zone sahélo-soudanienne cuirassée et collinaire où les ressources en eau de ruissellement sont nombreuses et les pertes en eau correspondantes atteignent fréquemment 20% de la pluie à l'échelle de petits bassins-versants. La période de la sécheresse a obligé les paysans à mieux prendre en compte le facteur ruissellement et d'anciennes pratiques ont été rapidement retrouvées (le *zai*, les réseaux de cordons pierreux, le paillage de début d'hivernage, l'orientation de ruissellements exogènes dans les champs). La prise en compte de ce facteur s'observe parfois simplement par la mise en culture systématique des zones basses qui concentrent naturellement le ruissellement et qui étaient considérées souvent comme des zones plus contraignantes : sols plus argileux parfois durcis, sols très battants et asphyxiants, enherbement important, présence de *Striga* et végétation ligneuse à contrôler, hydromorphie, courants d'eau. Comme la végétation naturelle, contractée entre des zones d'érosion nues et des zones plus humides de sédimentation, l'activité humaine tend donc actuellement à se renforcer aux points bas, là où subsistent les ressources en eau, suivant une répartition habituelle aux milieux prédésertiques. Ceci incite les opérateurs à accélérer le processus en tirant parti de techniques collectives de collecte d'eau, voire en favorisant ruissellement et érosion sur les versants, comme cela a été étudié au Néguev et en Haïti, puis en pratiquant l'équipement hydraulique des bas-fonds.

Dans le domaine de la recherche, il faut considérer la modélisation des transferts hydriques par les modèles hydrologiques ou le modèle hydraulico-pédologique *SOURCE* (GIRARD, DUFAURE, 88) comme des outils intéressants pour aborder les problèmes de la gestion des eaux de surface et souterraines en rapport avec des objectifs multiples et sur des espaces étendus (GUILLET *et al.*, 90). Ils pourraient

permettre de déterminer les portions d'espace où un aménagement sera le plus efficace, au moindre coût, dans l'esprit de la recherche opérationnelle.

Dans le domaine des actions de développement, les stratégies d'intervention dans le domaine de la gestion collective des eaux et son corollaire, le contrôle de l'érosion ont évolué. Les anciennes pratiques de DRS et de CES, mal adaptées aux systèmes de culture et de production, trop précaires où n'impliquant pas assez les paysans, ont fait place à de nouvelles stratégies, combinant communication et action technique. L'innovation concerne l'échelle d'intervention, laquelle s'applique soit à des territoires villageois, soit à des quartiers, soit à des associations. On peut signaler la méthode dite GCES (gestion conservatoire de l'eau et des sols) de la cellule R/D de Ouahigouya (RODRIGUEZ, ROOSE, 90): enquêtes, tests de sélection de pratiques appropriables *in situ*, plans d'aménagement concerté de petits bassins-versants correspondant à des terroirs de quartier, aménagements et mise en défens en co-responsabilité. Mais il existe aussi d'autres approches plus volontaristes (projets FAO/CARE de Keita au Niger) faisant appel à une certaine mécanisation, ou très intégrées, telle la méthode préconisée par BONFILS (87) : pour lui on doit relier la recherche d'une meilleure utilisation de l'eau à l'amélioration d'autres domaines : l'intensification et la réduction des surfaces cultivées, la solution du problème énergétique, l'amélioration des parcours, lui apparaissent comme des objectifs prioritaires dans une approche de "gestion de terroir". Globalement, on peut dire que ces nouvelles approches sont moins agressives et permettent effectivement l'aménagement durable d'un paysage. Leur principal défaut est l'habitude précipitation dans laquelle elles sont mises en oeuvre, empêchant l'apparition de nouveaux modes de régulation sociale adaptés, ou pouvant engendrer des liens de dépendance trop forts vis-à-vis de l'extérieur.

La mise en valeur des bas-fonds par de petits ouvrages

Cette action se fonde en grande partie sur une transformation des vallées inondables du Sahel. Depuis une vingtaine d'années un certain nombre d'aménagements étaient réalisés dans ce sens mais ce n'est que depuis les années 1980 que la demande villageoise s'accroît car la logique interne de gestion du risque hydrique rejoint à présent la logique externe de "mise en valeur" ; elle engendre une véritable dynamique dans certaines régions, suivie par un foisonnement de projets d'appui (cas de la région Centre Nord au Burkina Faso). Cette dynamique est liée à la combinaison de plusieurs processus :

- la démographie, la difficulté croissante de la migration, la saturation et la dégradation des terroirs qui impliquent un accroissement de productivité des terres cultivées,
- la fréquence des sécheresses qui entraîne avant tout une recherche de sécurité hydrique (tous usages de l'eau confondus) dans les stratégies des paysans ; cet objectif accroît leur intérêt pour des zones humides mais contraignantes, où peut aussi s'envisager la recharge de nappes souterraines,
- un certain nombre de facteurs exogènes, dont les principaux sont l'adéquation de cette option avec l'engouement actuel pour le mode d'intervention par micro-projets d'aménagements "en dur" des organisations non gouvernementales, l'adéquation avec les pratiques fréquentes de fourniture d'aide alimentaire en échange de travail lourd d'aménagement ; enfin les compétences et moyens techniques

limités, le financement restreint, les délais de réalisation réduits (génie rural léger), compatibles avec le type de formation des intervenants extérieurs et leurs ressources.

Dans les régions nord du Sahel, le bas-fond était jusqu'à présent boisé et réservé au parcours (bourgoutières, pâturages de début d'hivernage), à l'abreuvement du bétail, à la cueillette (*Panicum laetum*, fourrages ligneux, bulbes de nénuphars,...). Il devient peu à peu un des lieux privilégiés pour les cultures de sécurité vivrière de sorgho et de mil, malgré les fortes contraintes de ce milieu (crues, adventices, hydromorphie) et les conséquences défavorables aux systèmes d'élevage et à l'écologie (disparition de peuplement ligneux, érosion...) (MILLEVILLE, 90). Les grandes cuvettes inondables sont occupées soit par des bourgoutières, soit par des cultures extensives de riz inondable, soit en cultures de sorgho de "décrue", lorsqu'il y a pérennité des franges capillaires après l'hivernage.

Dans les régions sud du Sahel, il faut différencier les plaines inondables valorisées jusqu'à présent par une riziculture traditionnelle extensive, généralement par les femmes ; les bas-fonds à faible drainage (zones de pénéplaines) qui convenaient auparavant au coton pérenne et au sorgho brassicole sont à présent cultivés unanimement en sorgho et accompagnés de plantations d'arbres (arbres soudaniens, manguiers, goyaviers), sauf dans les lieux les plus humides où seul le riz est possible ; enfin les bas-fonds à bon drainage, qui sont plutôt des talwegs à pente non négligeable (zones de collines) cultivés en mil, sorgho, coton parfois sous parc. Dans ces différents cas de figure, la dynamique d'aménagement a permis la mise au point de techniques plus ou moins adaptées et fiables de stockage et de maîtrise des crues en liaison avec différents objectifs : formation de nappes d'eau pour maraîchage, besoins d'abreuvement, prolongation de stocks superficiels, amélioration de l'alimentation en eau des cultures, rizières à degré d'intensification intermédiaire. On peut citer la typologie de BERTON (88) : les petits barrages en terre, en gabions, en béton cyclopéen ou pierres maçonnées, les micro-barrages déversants à niveau réglable par des vannes et batardeaux, les digues filtrantes, enfin les simples diguettes en terre. Deux cas de figure sont possibles. Soit la demande portée sur la réalisation d'un "point d'eau" débouche sur un ouvrage de retenue qui n'a rien d'une innovation agricole. Si l'ouvrage doit entraîner une gestion pour une utilisation agricole (riziculture par submersion semi-contrôlée, périmètres irrigués), l'aménagement représente une véritable innovation mais son appropriation par les acteurs locaux dépend en grande partie de l'adaptation au contexte social et de l'accompagnement (technique, organisationnel, économique). Trop souvent les intervenants se contentent d'apprécier le contexte lié à la construction de l'ouvrage (disponibilité de main d'oeuvre, motivations, compétences techniques, capacité d'organisation, participation financière,...) et ne prévoient pas de discuter suffisamment des problèmes fonciers et de gestion des eaux. Or, les pratiques de soutien des chantiers (aides diverses), bien connues des bénéficiaires, biaisent toute étude de motivation.

Dans le domaine de l'aménagement de bas-fond, BERTON (88) juge que la qualité d'un intervenant tient à sa capacité à :

- identifier clairement les différents acteurs et leurs objectifs, leur logique économique et la dynamique de leur organisation,
- étudier toutes les alternatives techniques en prenant en compte tout l'environnement,
- associer les acteurs à toutes les phases de l'action et de l'étude.

Le degré de réussite dépend alors de plusieurs conditions : stabilité de l'aménagement, viabilité sociale et économique, autonomie des groupements d'utilisateurs, que le décideur soit l'utilisateur. Selon BERTON, la dissociation des droits fonciers et des droits à l'utilisation de l'eau serait aussi un facteur favorable.

Si cette stratégie de gestion de l'eau dans l'espace à partir des seuls bas-fonds est à étudier dès aujourd'hui, n'est-il pas prématuré de l'appliquer systématiquement? Il est à craindre que dans bien des cas, l'aménagement des bas-fonds, malgré ses coûts monétaires et sociaux élevés, l'incertitude de ses résultats, soit la seule réponse apportée à la dégradation des terroirs et que l'on perde de vue la conservation des sols et des eaux le long des versants là où une restauration est possible à un moindre coût.

V. CONCLUSION

Ce tableau de nouvelles techniques et stratégies s'appliquant à la "question de l'eau" ne prétend à aucune exhaustivité. Il ne concerne, on l'a vu, que les niveaux de l'exploitation agricole et du terroir. Nous n'avons pas abordé le niveau régional où un certain nombre de techniques nouvelles pourraient être employées, notamment dans le domaine de la surveillance : utilisation de la télédétection pour estimer et cartographier en temps réel les pluies, l'évaporation, l'humidité du sol, le taux de couverture végétale ; couplage de ces données à des modèles de simulation des bilans hydriques permettant un diagnostic régional permanent et ouvrant la voie à une gestion des appuis (approvisionnements...) ; télétransmission et modèles de "systèmes d'eau" pour raisonner la gestion de l'eau sur les grands bassins fluviaux.

Nous avons voulu montrer que de nombreuses techniques élémentaires de maîtrise de l'eau sont connues mais leurs interactions avec une multiplicité de milieux, de systèmes de culture, de production et d'exploitation, donc leurs conditions d'appropriation le sont insuffisamment. Le classique dilemme entre un souci de mise en valeur de ressources et l'amélioration de la conduite de systèmes de production peut être résolu à condition de centrer la réflexion sur les versants social et économique du changement technique, si toutefois celui-ci s'avère fiable et répond correctement aux conditions du milieu d'accueil. Pour mieux gérer la ressource en eau et le risque hydrique, il est généralement recommandé de jouer sur l'intensification et le mode associatif. Si ces options paraissent pertinentes en saison sèche, comme l'a montré la réussite de certaines opérations axées sur le développement d'activités de contre-saison, une réflexion doit être menée sur les risques qu'elles entraîneraient en saison humide de perturber la sécurité du fonctionnement des systèmes de culture et la cohésion familiale traditionnelle nécessaires aux économies de subsistance.

Cette conclusion est sans doute le lieu d'ouvrir la réflexion sur un autre plan. Nous voudrions souligner l'importance de la valeur symbolique de l'eau dans la plupart des sociétés concernées ou non par sa rareté, y compris la nôtre (LE ROY, 85). Il s'ensuit une difficulté pour le technicien : avec le code mythique dont il a été nourri (mythe de la rationalité, de l'Etat omnipotent en tant que seule entité compétente pour le contrôle des eaux au nom de l'intérêt général), peut-il proposer des pratiques de maîtrise des flux d'eau adaptées et apprécier leurs effets sur des populations qui ne possèdent pas la même vision du monde ?

Dans les sociétés sahéniennes, les niveaux de la réalité mesurables et descriptibles seuls ne suffisent pas pour analyser la question de l'eau (et les questions agraires en général), puisque celle-ci contient aussi des dimensions symboliques et psychologiques, moins directement appréhendables. L'eau est souvent, dans la mythologie Africaine, associée à la parole dans le processus de mise en ordre du Monde et de la Société, puis joue un rôle identique comme garant de la reproduction de leur équilibre toujours instable (LE ROY, *ibid.*). Les cultes de l'eau, les interdits techniques qui touchent l'eau (cas de la question de l'arrosage du mil qu'il est difficile d'aborder avec de nombreux paysans) n'en sont-ils pas des manifestations ? Si la coexistence de ces deux systèmes de représentation, l'ancien et l'importé, produit son cortège de désorganisation et de déresponsabilisation, le gestionnaire du milieu et des hommes ne devra-t-il pas adjoindre à ses propositions techniques une nouvelle philosophie ? N'oublions pas ici le rôle qu'ont pu jouer divers mouvements philosophiques ou religieux dans l'acquisition de nouveaux modes de production.

Références bibliographiques

- Actes du Séminaire d'Harare, 25-29 avril 1988. Agriculture irriguée en Afrique . Ed. CTA/ILRI, 2 t.
- Actes du Séminaire de Montpellier, 16-19 décembre 1986. Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production. Ed. CIRAD/DSA n° 6.
- ALBERGEL (J.), 1987. Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Thèse Paris VI. Coll. Etudes et Thèses, ORSTOM, 336 p.
- BELLONCLE (G.), 1988. La participation des usagers est-elle possible sur les aménagements hydro-agricoles ? Comm. au Séminaire d'Harare, 25-29 avril 1988.
- BERTON (S.), 1988. La maîtrise des crues dans les bas-fonds. Dossiers GRET "Le Point sur" n° 12.
- BIDINGER (Fr.), JOHANSEN (C.), 1988. Drought research priorities for the dryland tropics. ICRISAT.
- BONFILS (M.), 1987. Halte à la désertification dans le Sahel. Ed Karthala/CTA, 263 p.
- BOULIER (F.), JOUVE (Ph.), 1990. Evolution des systèmes de production sahéniens et leur adaptation à la sécheresse. R3S/CIRAD, 143 p. multigr.
- BRGM, BURGEAP, CINAM, 1988. Etude de valorisation agricole des eaux souterraines. Rapport multigr. FAC.
- CARBONNIER (J.), LAFFRAY (D.), 1986. Les anti-transpirants stomatiques : recherche et application. Ed. ACCT/Museum d'Histoire Naturelle, 241 p.
- CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1989. Les états de surface de la zone sahénienne. Influence sur l'infiltration. Ed. ORSTOM Didactiques, 229 p.
- CIEH/BRGM, 1976. Carte de Planification des Ressources en eaux souterraines.
- CIEH/IRAT, 1983. Valorisation agricole des ressources pluviométriques. Multigr. IRAT, 145 p.
- COLLINET (J.), 1988. Comportement hydro-dynamique et érosif des sols de l'Afrique de l'Ouest. Thèse Univ. Strasbourg, 513 p. + ann.

- DANCETTE (C.), 1983. Besoins en eau du mil au Sénégal. Adaptation en zone semi-aride tropicale. *in* L'Agronomie tropicale 38-4, pp. 267-280.
- DESJEUX (D.), 1985. L'eau, quels enjeux pour les sociétés rurales. L'Harmattan, 220 p.
- DEVISSE (J.), 1985. Les Africains et l'eau, la longue durée. *in* Les politiques de l'eau en Afrique, développement agricole et participation paysanne. Actes du Colloque de la Sorbonne. Oct.83. pp 120-131. Ed. Economica, Paris.
- DIEMER (G.), VAN DER LAAN (E.), 1987. L'irrigation au Sahel. Ed. Karthala, 208 p.
- DIPAMA (B.), 1987. Alternatives de travail du sol en culture attelée en zone soudano-sahélienne. Rapport de stage IDR/ORSTOM, 48 p.
- DUGUE (P.), 1986. L'utilisation des ressources en eau à l'échelle d'un village : perspectives et développement des petits périmètres irrigués de saison des pluies et de saison sèche au Yatenga. Contraintes techniques et socio-économiques. Comm. au Séminaire Montpellier, 16-19 décembre 1986 "Aménagement hydro-agricole et systèmes de production".
- FOREST (F.), 1989. La méthodologie Espace. *in* Atelier d'Agroclimatologie opérationnelle pour les pays du Cilss, 29 janvier-3 février 1989. Ed. IRAT.AGHRYMET.
- FRANQUIN (P.), SICOT (M.), 1986. Un modèle de simulation de l'irrigation complémentaire. Le système probabiliste ORACLE. Application au Sahel : l'irrigation de sécurité. *in* Cahiers ORSTOM, sér. Pédologie, vol. XXII, n° 1, pp. 51-62.
- GIRARD (M.C.), DUFAURE (L.), 1988. Présentation d'un modèle de transfert de l'eau dans les sols : SOURCE. Ed. R. Calvet, INRA.
- GUILLET (F.), LAMACHERE (J.M.), SABATIER (J.L.), SERPANTIE (G.), 1990. L'aménagement des conditions du ruissellement sur les pentes cultivées soudano-sahéliennes. Comm. aux Journées Scientifiques AUPELF/UREF, Ouagadougou, 12-15 mars 1990, 21 p.
- KLEMM (W.), SCHRAMM (M.), 1988. Projet de recherche de l'irrigation par des eaux de ruissellement. Rapport multigr., Univ. Karlsruhe 24 p. + ann.
- LE ROY (E.), 1985. Les politiques de l'eau en Afrique Noire, deux ou trois choses que je sais d'elles. *in* Les politiques de l'eau en Afrique, développement agricole et participation paysanne. Actes du Colloque de la Sorbonne. Oct.83. pp 176-194. Ed. Economica, Paris.
- LERICOLLAIS (A.), SCHMITZ (J.), 1984. "La calebasse et la houe". Cah. ORSTOM, sér. Sci. hum., Vol XX, n° 3-4, pp427-452.
- MARCHAL (J.Y.), 1983. La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien. Travaux et Documents ORSTOM, 873 p.
- MARTINELLI (B.), SERPANTIE (G.), 1987. La confrontation paysans aménageurs au Yatenga. *in* "Les Cahiers Rech. Dévelop." n° 14-18, pp. 29-52.
- MARZOUK (Y.), 1989. Sociétés rurales et techniques hydrauliques en Afrique. *in* E.R, juil. déc.1989, 115-116 : pp 9-36.
- MILLEVILLE (P.), 1990. Activités agropastorales et aléa climatique en région sahélienne. *in* "Le Risque en agriculture", coll. A travers Champs, ORSTOM.
- NICOU (R.), OUATTARA (B.), SOME (L.), 1987. Effets de techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières au Burkina Faso. Rapport multigr. INERA, 77 p.

- RAYNAUT (C.), 1989. La culture irriguée en pays Haoussa nigérien. Aspects historiques, sociaux, et techniques. in E.R, juil. déc.1989, 115-116 : pp 105-128.
- REIJ (C.), MULDER (P.), BEGEMANN (L.), 1988. Water Harvesting for Plant production. World Bank Technical paper, n° 91, 123 p.
- RODRIGUEZ (L.), ROOSE (E.), 1990. Aménagement de terroirs au Yatenga (nord-ouest du Burkina) : quatre années de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols : bilan et perspective. Rapport CRPA-INERA-CIRAD-ORSTOM, Montpellier, 57 pages.
- RUF (Th.), 1986. La Sakkia égyptienne, interface entre l'aménagement hydro-agricole et les systèmes de production paysans. Comm. au Séminaire Montpellier, 16-19 décembre 1986.
- SERPANTIE (G.), LAMACHERE (J.M.), 1989. Improvement of cultivated slopes in sudano sahelian areas thanks to permeable microdam systems. 6th ISCO. Conference 6-18 novembre Addis Abeba.
- SOME (L.), 1989. Diagnostic agro-pédo-climatique du risque de sécheresse au Burkina Faso Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance (sorgho, mil, maïs). Thèse Univ. Montpellier II, 312 p.
- VALET (S.), 1985. Première approche du fonctionnement hydrique des paysages agraires au Sine Saloum. Multigr. IRAT/ISRA, 31 p. + ann.
- WRIGHT (P.), 1985. La conservation des eaux et des sols par les paysans. PAF Ouahigouya, 12 p. multigr.